پژوهش‌های حبوبات ایران
سال(دوره)۱۱ شمارهٔ۱، نیمهٔ اوّل ۱۳۹۹
صفحهٔ ۸۷-۷۴، نوع مقاله: پژوهشی

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 11, No. 1, 2020, p. 74-87 (Research Article)
DOI: 10.22067/ijpr.v11i1.70916

ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba* L.) با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره

حسین آسترکی[1]، پیمان شریفی[2]*، فاطمه شیخ[3] و علی ایزدی دربندی[4]

۱- محقق سازمان تحقیقات آموزش و ترویج جهاد کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، ایستگاه تحقیقات کشاورزی بروجرد؛
research12014@gmail.com

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان؛
sheikhfatemeh@yahoo.com

۴- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران؛ aizady@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۴

چکیده

آزمایش حاضر به‌منظور بررسی روابط بین عملکرد و اجزای عملکرد ۲۶ژنوتیپ باقلا در استان لرستان به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. نتایج برآورد ضرایب همبستگی نشان داد که عملکرد دانه با صفات تعداد روز تا جوانه‌زنی، تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در بوته، وزن۱۰۰دانه، طول غلاف، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت همبستگی مثبت داشت. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون، صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد گره در شاخه، تعداد دانه در غلاف، وزن۱۰۰دانه و طول غلاف می‌توانند به‌عنوان متغیرهای پیشگویی‌کننده برای عملکرد دانه وارد مدل شوند. تجزیه علیت نشان داد که ارتفاع بوته(۰/۵۱)، تعداد غلاف در بوته(۰/۵۱)، تعداد گره در شاخه(۰/۱۱)، تعداد دانه در غلاف(۰/۲۰)، وزن۱۰۰دانه(۰/۳۴) و طول غلاف(۰/۴۱) اثرات مستقیم مثبت بر عملکرد دانه دارد. در مجموع بایستی به صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در شاخه و طول غلاف برای افزایش عملکرد دانه توجه شود و این صفات می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های انتخاب در برنامه‌های اصلاح باقلا استفاده شوند. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شش مؤلفه را معرفی کرد که حدود۸۰درصد از تغییرات را توجیه می‌نمود. توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای نمودار دوبعدی (بای‌پلات)، وجود تنوع ژنتیکی بالای بین ژنوتیپ‌ها را از نظر صفات مورد مطالعه نشان داد. در مجموع، می‌توان اظهار داشت که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا شامل ۹ و ۲۲ می‌توانند برای بهبود عملکرد دانه باقلا استفاده شوند و سبب افزایش تولید این محصول شوند.

واژه‌های کلیدی: باقلا، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، تجزیه علیت، همبستگی، عملکرد

مقدمه

باقلا یکی از مهم‌ترین بقولات دانه‌ای با ۲/۹میلیون هکتار سطح زیرکشت در خاورمیانه، چین و حتی نقاطی از اروپا و استرالیا است که با حدود ۱۸ تا ۳۶درصد پروتئین نقش مهمی را در تأمین مواد پروتئینی مورد نیاز بشر دارد و همچنین با دارابودن باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در ریشه یکی از گیاهان مهم تثبیت‌کننده نیتروژن هوا در خاک است (Turpin *et al.*, 2002). سطح زیرکشت باقلا در ایران در حدود ۲۰۰۰۰هکتار با متوسط عملکرد ۴۰۰۰-۲۰۰۰کیلوگرم در هکتار بذر خشک و حدود ۸تُن در هکتار غلاف سبز است (FAO, 2015).

عملکرد، صفت کمّی پیچیده‌ای است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌گردد و شدیداً تحت تأثیر محیط قرار دارد و حاصل خصوصیات بسیاری است که به‌تنهایی یا با هم بر آن اثر می‌گذارند. بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس عملکرد سودمند نیست و چنانچه انتخاب بر اساس صفاتی انجام شود که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر عملکرد سهم دارند، بسیار مفیدتر خواهد بود (Amini *et al.*, 2002). در اصلاح نباتات مطالعه همبستگی به‌منظور یافتن روابط بین صفات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ضریب همبستگی شدت یا ضعف و جهت تبعیت تغییرات دو متغیر را نسبت به یکدیگر معلوم می‌سازد (Chaieb *et al.*, 2011). روابط بین عملکرد، اجزای عملکرد و صفات مورفولوژیک توسط بسیاری از محققان در باقلا مورد بررسی قرار گرفته است و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته،

*نویسنده مسئول: sharifi@iaurasht.ac.ir

تعداد دانه در غلاف، عملکرد بیولوژیک، تعداد ساقه در بوته، شاخص برداشت، وزن۱۰۰دانه، تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی، ارتفاع بوته، طول غلاف و طول و عرض دانه گزارش شده است (Alghamd, 2007; Sharifi, Azarpour *et al.*, 2012; 2014; Ulukan *et al.*, 2003; Tadesse *et al.*, 2011; Hashemi & Mohammady, 2016; Sharifi *et al.*, 2014; Badolay *et al.*, 2009).

تجزیه رگرسیون روشی برای برآورد ارزش یک متغیر کمّی با توجه به رابطۀ آن با یک یا چند متغیر کمّی دیگر است و با استفاده از این رابطه می‌توان تغییرات یک متغیر را بر اساس تغییرات سایر متغیرها پیش‌بینی کرد (Kanouni & Malhotra, 2003). به‌منظور تعیین نقش اجزای عملکرد در بالابردن عملکرد و افزایش کارآیی انتخاب از طریق تعداد کمی از خصوصیات که شاخص‌های مؤثر در دستیابی به اهداف اصلاحی محسوب می‌شوند، از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده می‌شود (Maalouf *et al.*, 2011). به‌طور کلی همبستگی بین یک متغیر وابسته و مستقل به سه جزء شامل ضرایب علیت (اثرات مستقیم متغیر مستقل بر متغیر وابسته)، اثرات غیرمستقیم (که از طریق متغیرهای همبسته دیگر بر متغیر وابسته اثر می‌گذارد) و اثرات ناشی از عوامل ناشناخته (اثرات باقیمانده) تقسیم می‌شود (Wright, 1921). بنابراین می‌توان با استفاده از تجزیه علیت به اطلاعات تکمیلی دست یافت که عموماً در همبستگی‌های ساده مشاهده نمی‌شوند. تعداد زیادی از محققان روابط علت و معلولی بین عملکرد دانه و سایر صفات را در باقلا مورد بررسی قرار داده‌اند و به اثرات مستقیم تعداد دانه و غلاف در بوته، تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی، وزن۱۰۰دانه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، طول غلاف و عملکرد بیولوژیک بر عملکرد دانه اشاره کرده‌اند (Ulukan *et al.*, 2003; Tadesse *et al.*, 2011; Azarpour *et al.*, 2012; Sharifi, 2014; Hashemi & Mohammady, 2016; Kumar *et al.*, 2017).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یک روش آماری برای کاهش ابعاد اطلاعات و داده‌ها است، به‌نحوی‌که اطلاعاتی که واریانس بیشتری توجیه می‌نمایند، در مؤلفه‌های اولیه قرار می‌گیرند. در این روش عدم همبستگی بین شاخص‌ها یک ویژگی مفید است، زیرا در این حالت این شاخص‌ها جنبه‌های متفاوتی از داده‌ها را اندازه‌گیری می‌کنند (Ringner, 2008). در این روش نمودارهای بای‌پلات و سه‌بعدی جهت نمایش و ترسیم همزمان نقاط و محورها استفاده می‌شود که در آن‌ها هر یک از ابعاد نمودار مربوط به یکی از مؤلفه‌های اصلی است (Knudsen, 2005). روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در تعدادی از مطالعات مربوط به باقلا مورد استفاده قرار گرفته است و نشان داده شده است که دو مؤلفه اول ۷۳/۹۸درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند (Sharifi & Aminpanah, 2014). همچنین در مطالعه دیگری، از تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای طبقه‌بندی ۹ژنوتیپ باقلا بر اساس ۲۷صفت زراعی و مورفولوژیکی استفاده شد (Ouji *et al.*, 2011).

هدف از تحقیق حاضر بررسی ارتباط صفات مختلف با عملکرد دانه و تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد دانه باقلا برای بهره‌گیری از آنها در انتخاب و معرفی صفاتی می‌باشد که بتوان از آن‌ها جهت انتخاب ژنوتیپ‌ها بهره برد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی سال زراعی۹۵-۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بروجرد، استان لرستان به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. مواد گیاهی مورد استفاده در این آزمایش شامل ۱۳ژنوتیپ دانه درشت و ۱۳ژنوتیپ دانه‌ریز باقلا بودند (جدول ۱).

پس از انجام مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و صاف‌کردن، کودپاشی به‌صورت دستی (شامل کود سوپرفسفات آمونیوم۵۰کیلوگرم در هکتار و کود اوره به میزان ۱۵۰کیلوگرم در هکتار) صورت گرفت. عملیات کاشت به صورت دستی و در تاریخ ۱۵اسفند۱۳۹۴ انجام شد. هر کرت شامل هشت ردیف به مساحت ۱۶ =۴×۴ مترمربع و فاصله بوته‌ها ۲۰سانتی‌متر روی ردیف و ۵۰سانتی‌متر بین ردیف بود. عملیات آبیاری در چهار نوبت انجام شد. عملیات مبارزه با علف‌های‌هرز سه‌مرتبه و به‌طور دستی انجام گرفت. گیاهان تا مراحل رسیدگی دانه نگهداری و صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد گره در بوته، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن۱۰۰دانه، طول غلاف، عملکرد دانه خشک، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت برای آن‌ها اندازه‌گیری شد. مراحل فنولوژیک شامل تعداد روز تا جوانه‌زنی، تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی دانه با ثبت تاریخ دقیق روز و ماه در کرت‌ها صورت گرفت. تاریخ گلدهی، روزی منظور شد که ۵۰درصد بوته‌ها در چهار ردیف وسط هر کرت، حداقل یک گل بازشده داشته باشد و رسیدگیریال روزی لحاظ گردید که غالب بوته‌های موجود در هر کرت، آماده برداشت شده بودند.

تجزیه واریانس برای صفات فوق به روش معمول با استفاده از نرم‌افزارSAS9.2 انجام گرفت. همبستگی فنوتیپی با استفاده از ضریب پیرسون و همچنین ضرایب رگرسیون برای تعیین سهم اثر تجمعی صفات در تعیین عملکرد دانه با استفاده از نرم‌افزارSPSS 19 محاسبه شدند.

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های باقلا مورد مطالعه
Table 1. Characteristics of faba bean genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype code	نام ژنوتیپ Genotype name	اندازه دانه Seed size	منشأ Origin
1	G-faba-1	دانه بزرگ	ایتالیا
2	G-faba-95	دانه بزرگ	ایکاردا
3	G-faba-98	دانه بزرگ	مصر
4	G-faba-62	دانه بزرگ	ایکاردا
5	G-faba-67	دانه بزرگ	ایکاردا
6	G-faba-13	دانه بزرگ	ایکاردا
7	G-faba-16	دانه بزرگ	ایکاردا
8	G-faba-159	دانه بزرگ	ایکاردا
9	G-faba-133	دانه بزرگ	ایکاردا
10	G-faba-146	دانه بزرگ	ایکاردا
11	Balogi	دانه بزرگ	ایران-سیستان
12	Saraziri	دانه بزرگ	ایران-خوزستان
13	Barekat	دانه بزرگ	ایران-گلستان
14	G-faba-29	دانه ریز	ایکاردا
15	G-faba-31	دانه ریز	ایکاردا
16	G-faba-35	دانه ریز	ایکاردا
17	G-faba-51	دانه ریز	ایکاردا
18	G-faba54	دانه ریز	ایکاردا
19	G-faba-63	دانه ریز	ایکاردا
20	G-faba-64	دانه ریز	ایکاردا
21	G-faba66	دانه ریز	ایکاردا
22	G-faba-69	دانه ریز	ایکاردا
23	G-faba-79	دانه ریز	ایکاردا
24	G-faba-94	دانه ریز	ایکاردا
25	G-faba-161	دانه ریز	ایکاردا
26	Broujerd	دانه ریز	ایران بروجرد

برای بررسی هم‌خطّی چندگانه یا چندهم‌خطّی (Multi-collinearity) در تجزیه رگرسیون از دو ضریب تحمل (Tolerance) و عامل تورم واریانس (Variance Inflation Factor:VIF) استفاده شد که توسط Hair *et al*, (1995) معرفی شده است. مقادیر خیلی پایین تحمل (کوچک‌تر از ۰/۱) و یا بزرگ VIF (بزرگ‌تر از ۱۰) نشان‌دهنده هم‌خطّی بالا است و نباید به‌عنوان صفات پیش‌بین در تجزیه رگرسیون و علیت استفاده شوند (Mohammadi *et al*., 2003). بررسی روابط بین صفات به روش تجزیه علیت و با استفاده از نرم‌افزار Path analysis صورت گرفت. همچنین برای تجزیه مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار Minitab استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، اختلاف بسیار معنی‌داری از نظر تمام صفات مورد مطالعه وجود داشت (جدول ۲). این نتیجه در تطابق با یافته‌های سایر محققان می‌باشد (Sarparast *et al*., 2011; Sharifi, 2014; Sharifi *et al*., 2014). ضرایب تغییرات برای صفات مورد مطالعه از ۰/۷۶ (تعداد روز تا رسیدگی) تا ۲۰/۹۸ (شاخص برداشت) متغیر بود. میزان این شاخص برای عملکرد دانه ۱۴/۵۵ بود.

نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های موردمطالعه از نظر تعداد روز تا جوانه‌زنی دارای دامنه‌ای از ۲۳ (ژنوتیپ ۲۶) تا ۲۷/۶۷ (ژنوتیپ ۳) بودند. کمترین تعداد روز تا گلدهی (۱۲۱) مربوط به ژنوتیپ شماره۷ و بیشترین میزان آن (۱۲۶/۶۷) مربوط به ژنوتیپ شماره۱۲ بود. کمترین (۲۱۹) و بیشترین (۲۳۷/۶۷) تعداد روز تا رسیدگی به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۱ بود. بیشترین میزان ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ۲۶ (۹۸/۶۰ سانتی‌متر) و کمترین میزان آن مربوط به ژنوتیپ۱۵ (۵۰/۴۷سانتی‌متر) بود. تعداد غلاف در بوته دارای دامنه‌ای از ۱۳/۷ (ژنوتیپ۱) تا ۴۶/۲ (ژنوتیپ۱۵) بود. کمترین (۳/۱) و بیشترین (۸/۷) تعداد ساقه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۳ و ۱۱ بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات باقلا

Table 2. Analysis of variance (MS) for some traits of faba bean

منابع تغییر **S.O.V**	درجه آزادی **d.f**	شاخص برداشت **Harvest index**	عملکرد بیولوژیک **Biological yield**	عملکرد دانه خشک **Dry seed yield**	طول غلاف **Pod length**	وزن ۱۰۰دانه **100 Seed weight**	تعداد دانه در غلاف **Number of seed per pod**	تعداد دانه در بوته **Number of seed per plant**	تعداد گره در شاخه **Number of node per stem**	تعداد شاخه در بوته **Number of stem per plant**	تعداد غلاف در بوته **Number of pod per plant**	ارتفاع بوته **Plant height**	تعداد روز تا رسیدگی **Dayes to maturity**	تعداد روز تا گلدهی **Dayes to flowering**	تعداد روز تا جوانه‌زنی **Dayes to germination**
بلوک Block	2	0.005ns	13798.3 ns	4104.20	47.53**	29.45 ns	0.79 ns	53.97 ns	0.55 ns	0.10 ns	39.05 ns	114.12*	2.16 ns	0.34 ns	1.16ns
ژنوتیپ Genotype	25	0.17**	66925.2**	22515.1**	32.4**	2522.2**	0.23**	1609.6**	15.92**	4.43**	206.72**	374.54**	46.75**	4.32**	4.22**
خطا (Error)	50	0.018	3322.06	2141.72	0.76	141.06	0.11	129.92	0.92	0.77	13.26	34.26	2.99	1.45	0.88
ضریب تغییرات CV%	-	20.98	10.89	14.55	10.39	10.55	12.53	13.55	5.71	17.18	11.33	8.55	0.76	0.98	3.82

ns ، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج‌درصد و یک‌درصد

ns: Non-significant, *and **: Significant at $\alpha = 0.05$ & $\alpha = 0.01$, respectively

ژنوتیپ۶ (۲۰/۳) و ژنوتیپ۱۲ (۱۳/۰) دارای بیشترین تعداد گره در ریشه بودند. تعداد دانه در بوته و غلاف نیز به‌ترتیب دارای دامنه‌ای از ۴۳/۹ (ژنوتیپ۱) تا ۱۳۷/۶ (ژنوتیپ۲۲) و ۱/۵ (ژنوتیپ۱۱) تا ۴/۱ (ژنوتیپ۱۳) بودند.

بیشترین وزن۱۰۰دانه (۱۷۰/۹۵گرم) مربوط به ژنوتیپ۱ و کمترین میزان آن (۵۳/۶۹گرم) مربوط به ژنوتیپ۲۶ بود.

بیشترین میزان طول غلاف (۲۲/۴۵سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ۱۱ و کمترین میزان آن (۳/۰۷سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ۱۳ بود.

عملکرد دانه دارای دامنه‌ای از ۸۱/۶۷گرم در مترمربع (ژنوتیپ۱۵) تا ۴۴۸/۱۳گرم در مترمربع (ژنوتیپ۲۰) متغیر بود. کمترین میزان عملکرد بیولوژیک (۴۷۳/۶۶گرم در مترمربع) مربوط به ژنوتیپ۱۴ و بیشترین میزان آن (۱۰۹۲گرم در مترمربع) مربوط به ژنوتیپ۱۸ بود. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، بیشترین (۰/۵۶) و کمترین (۰/۲۷) میزان شاخص برداشت به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۱۴ بود (جدول۳).

برآورد ضرایب همبستگی

ضرایب همبستگی بین صفات نشان داد که عملکرد دانه با صفات تعداد روز تا جوانه‌زنی، تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در بوته، وزن۱۰۰دانه، طول غلاف، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت همبستگی مثبت داشت (جدول ۴). همبستگی مثبت عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بیان‌کننده این مطلب است که با افزایش شاخص برداشت و وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه افزایش می‌یابد و یکی از راه‌های افزایش عملکرد دانه، افزایش عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به‌طور همزمان است. در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، محققان دیگری نیز همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و ارتفاع بوته (Tadesse *et al.*, 2011; Badolay *et al.*, 2009)، تعداد غلاف در بوته (Sharifi *et al.*, 2014)، طول غلاف (Sharifi *et al.*, 2014)، عملکرد بیولوژیک (Alghamd, 2007; Ulukan *et al.*, 2003) و شاخص برداشت (Hashemi & Mohammady, 2016) را گزارش نمودند.

با توجه به همبستگی بالای بین عملکرد دانه و صفات فوق، گزینش بر مبنای این صفات می‌تواند سبب افزایش و بهبود عملکرد دانه شود، اما در تدوین یک برنامه اصلاحی توجه به اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد دانه نیز ضروری است (Sabori *et al.*, 2011). عملکرد دانه با صفات تعداد روز تا رسیدگی، تعداد دانه در غلاف و وزن۱۰۰دانه همبستگی منفی داشتند که این نتیجه در تطابق با یافته Rasheed *et al*, (2008) می‌باشد. در مورد این روابط می‌توان گفت با توجه به سرمادوست‌بودن باقلا، برخورد دوره‌های حساس پرشدن دانه با تنش خشکی و درجه‌حرارت‌های بالای انتهای فصل، منجر به سقط جنین، کاهش اندام‌های فتوسنتزکننده گیاه و در نهایت کاهش تعداد دانه در غلاف و وزن دانه شده است (Tadayyon *et al.*, 2011). همبستگی مثبت تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌هایی که زودتر به مرحله گلدهی رسیده‌اند، دارای دوره رشدی کوتاه‌تری بوده و درنتیجه گزینش برای زودرسی را می‌توان بر اساس تعداد روز تا گلدهی انجام داد.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی باقلا

Table 3. Mean comparison for traits of faba bean

ژنوتیپ Genotype	تعداد روز تا جوانه‌زنی Days to germination	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد شاخه در بوته Number of stem per plant	تعداد گره در شاخه Number of node per stem	تعداد دانه در بوته Number of seed per pla	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	وزن ۱۰۰دانه (گرم) 100 Seed weight (g)	طول غلاف (سانتی‌متر) Pod length (cm)	عملکرد دانه خشک (گرم در متر مربع) Dry seed yield ($g\ m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیک (گرم در متر مربع) Biological yield ($g\ m^{-2}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
1	25	122	238	64.93	13.7	4.0	16.7	43.9	3.3	170.9	6.0	183.3	480.7	0.38
2	26	123	228	59.47	29.9	4.3	19.0	69.3	2.3	116.6	7.3	379.0	966.0	0.39
3	28	123	228	55.80	23.2	3.1	14.3	66.0	2.9	116.4	9.4	282.1	583.3	0.48
4	24	123	228	52.33	36.5	5.8	17.0	95.9	2.6	125.1	8.5	228.1	644.0	0.35
5	25	122	226	55.67	28.2	3.8	16.7	58.6	2.1	166.0	10.1	355.6	648.7	0.55
6	26	123	221	69.13	25.9	4.6	20.3	51.2	2.0	161.5	7.3	320.4	700.0	0.46
7	26	121	222	65.73	31.5	6.5	14.3	78.5	2.5	141.4	6.3	245.0	508.7	0.48
8	25	124	224	72.47	33.9	4.9	19.7	80.9	2.5	132.2	8.5	334.6	756.0	0.44
9	27	124	224	71.80	38.3	4.7	15.3	96.0	2.5	101.0	10.9	445.2	998.7	0.45
10	25	122	224	69.80	34.5	6.9	13.0	93.3	2.7	111.3	9.5	221.5	513.3	0.43
11	24	125	219	83.73	37.7	8.7	18.3	58.0	1.5	105.6	22.4	386.0	1003.3	0.38
12	25	127	230	78.07	17.3	4.3	13.0	58.5	3.4	125.2	5.9	311.7	1003.3	0.31
13	26	122	227	70.40	14.5	4.0	13.7	58.7	4.1	148.3	3.1	367.9	840.7	0.44
14	24	125	224	56.00	38.0	4.2	18.3	87.4	2.3	69.3	7.3	276.5	473.7	0.56
15	24	123	224	50.47	46.2	5.7	14.7	121.9	2.6	71.0	7.2	81.7	499.3	0.30
16	24	123	227	60.73	38.0	4.9	15.7	95.6	2.5	82.8	7.5	197.9	728.0	0.27
17	23	123	225	61.40	32.7	4.3	18.7	92.9	2.9	91.4	8.0	358.1	889.0	0.40
18	24	123	226	68.00	29.8	4.5	17.0	80.8	2.7	105.9	7.8	353.3	1092.0	0.32
19	24	121	219	66.80	30.3	5.3	14.3	103.6	3.4	96.9	8.4	292.9	807.3	0.36
20	24	123	221	74.07	40.1	5.1	18.3	106.0	2.7	102.1	8.7	448.1	886.7	0.51
21	24	123	220	74.27	41.1	5.3	20.3	124.9	3.0	94.1	10.4	336.5	1010.3	0.33
22	24	122	222	69.73	44.9	7.1	18.3	137.6	3.1	103.5	7.2	366.0	980.0	0.37
23	24	122	224	65.00	27.4	5.7	16.0	80.2	2.9	119.2	8.2	296.7	574.0	0.52
24	23	123	229	74.13	34.3	4.6	15.7	80.9	2.3	105.3	8.9	427.1	830.7	0.51
25	24	123	228	90.07	32.6	4.8	18.3	77.6	2.4	108.4	8.0	391.8	784.0	0.50
26	23	121	222	98.60	34.7	6.0	20.3	88.1	2.5	53.7	6.4	380.0	793.3	0.48
LSD (5%)	1.54	1.97	2.83	9.59	5.98	1.44	1.57	18.71	0.54	19.47	1.43	75.89	94.52	0.16

تجزیه رگرسیون و علیت

در تجزیه رگرسیون برای بررسی روابط علی و معلولی بین صفات اندازه‌گیری‌شده و عملکرد دانه، عملکرد دانه به‌عنوان متغیر تابع (SY) و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل درنظرگرفته شدند. صفات ارتفاع بوته (PH)، تعداد غلاف در بوته (NP)، تعداد شاخه در بوته (NSt)، تعداد گره در بوته (NN)، تعداد دانه در غلاف (NSePo)، وزن ۱۰۰دانه (HSW) و طول غلاف (PL) به‌عنوان متغیرهای پیشگویی‌کننده برای عملکرد دانه با استفاده از مدل رگرسیون گام‌به‌گام وارد مدل شدند. در این مدل رگرسیونی، یک متغیر به‌عنوان متغیر وابسته و سایر متغیرها به‌عنوان متغیرهای مستقل درنظرگرفته می‌شوند و در هر مرحله یک متغیر وارد مدل می‌شود. در تعیین متغیرهای پیشگویی‌کننده به هم‌خطّی چندگانه توجه می‌گردد و متغیرهای دارای هم‌خطّی بالا، به‌عنوان صفات پیش‌بین در تجزیه رگرسیون درنظرگرفته نمی‌شوند. ضریب تبیین (R^2) برای این رابطه رگرسیونی ۰/۵۷ برآورد گردید که نشان می‌داد بیش از نیمی از تغییرات متغیر تابع توسط رابطه خطی موجود و با استفاده از متغیرهای پیشگویی‌کننده فوق توجیه می‌شود. این مدل در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار و معادله رگرسیونی آن به صورت زیر به‌دست آمد:

$$SY= -379.58+ 5.76PH+ 5.38NP- 46.69NSt+ 4.10NN+ 34.65NSePo+ 1.01HSW+ 10.94PL$$

توضیح این‌که صفات عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت با توجه به چند هم‌خطّی بالای آن‌ها در تجزیه علیت و رگرسیون حذف شدند (Mohammadi *et al.*, 2003). به‌نظر می‌رسد که می‌توان از صفات فوق در جهت بهبود عملکرد دانه باقلا و انجام گزینش برای نیل به نتاجی با عملکرد بالا استفاده کرد. با این وجود، صرفاً بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون و همبستگی نمی‌توان به معرفی شاخصی مناسب برای بهبود عملکرد از طریق انتخاب پرداخت و با بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات از طریق تجزیه علیت و تفسیر نتایج حاصل از آن، اطلاعات دقیق‌تر و قابل‌قبول‌تری در این زمینه ارائه خواهد شد (Sabori *et al.*, 2011). در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، با استفاده از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام نشان داده شد که تعداد دانه در بوته تنها صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد

و بیشترین تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد (Hashemi & Mohammady, 2016). همچنـین Tadesse *et al*, (2011) نشان دادند کـه تعـداد غـلاف در بوتـه، تعـداد دانـه در غـلاف، وزن۱۰۰دانـه و ارتفـاع بوتـه، مهـم‌تـرین صـفات تأثیرگـذار بـر عملکرد دانه باقلا بودند.

جدول ۴- همبستگی برخی از صفات زراعی در ژنوتیپ‌های باقلا

Table 4. Correlations between some of agronomic traits in faba bean genotypes

صفات Characters	شاخص برداشت Harvest index (HI)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (BY)	عملکرد دانه خشک Dry seed yield (DSY)	طول غلاف Pod length (PL)	وزن هزار دانه 100 Seed weight (HSW)	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod (NSePo)	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant (NSePl)	تعداد گره در شاخه Number of node per stem (NNSt)	تعداد شاخه در بوته Number of stem per plant (NStP)	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant (NPP)	ارتفاع بوته Plant height (PH)	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity (NDM)	تعداد روز تا گلدهی Days to flowering (NDF)	تعداد روز تا جوانه‌زنی Days to germination (NDG)
NDG	-0.06^{ns}	0.02^{ns}	0.014^{ns}	-0.05^{ns}	0.45*	0.08^{ns}	-0.37^{ns}	-0.35^{ns}	-0.35^{ns}	-0.39^{ns}	-0.26^{ns}	0.19^{ns}	0.07^{ns}	1
NDF	-0.15^{ns}	0.37^{ns}	0.15^{ns}	0.32^{ns}	-0.08^{ns}	-0.19^{ns}	-0.19^{ns}	0.03^{ns}	-0.07^{ns}	-0.004^{ns}	0.07^{ns}	0.07^{ns}	1	
NDM	0.09^{ns}	-0.32^{ns}	-0.26^{ns}	-0.39*	0.40*	0.26^{ns}	-0.49*	-0.29^{ns}	-0.56**	-0.59**	-0.24^{ns}	1		
PH	0.21^{ns}	0.24^{ns}	0.56**	0.19^{ns}	-0.19^{ns}	-0.06^{ns}	-0.08^{ns}	0.29^{ns}	0.33^{ns}	-0.01^{ns}	1			
NPP	-0.13^{ns}	0.19^{ns}	0.02^{ns}	0.35^{ns}	-0.68**	-0.46*	0.81**	0.33^{ns}	0.53**	1				
NStP	-0.22^{ns}	0.16^{ns}	-0.06^{ns}	0.54**	-0.26^{ns}	-0.30^{ns}	0.35^{ns}	0.08^{ns}	1					
NNSt	0.08^{ns}	0.21^{ns}	0.38^{ns}	0.19^{ns}	-0.15^{ns}	-0.45*	0.11^{ns}	1						
NSePl	-0.27^{ns}	0.26^{ns}	-0.08^{ns}	-0.04^{ns}	-0.65**	0.12^{ns}	1							
NSePo	-0.25^{ns}	0.14^{ns}	-0.14^{ns}	-0.61**	.12^{ns}	1								
HSW	0.18^{ns}	-0.27^{ns}	-0.02^{ns}	-0.12^{ns}	1									
PL	0.056^{ns}	0.19^{ns}	0.24^{ns}	1										
DSY	0.52**	0.33^{ns}	1											
BY	-0.59**	1												
HI	1													

ns ، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج‌درصد و یک‌درصد

ns: Non-significant, *and **: Significant at $\alpha = 0.05$ & $\alpha = 0.01$, respectively

با استفاده از تجزیه علیت مشخص می‌شود که همبسـتگی صفات با عملکرد دانه به علت اثر مستقیم آن‌ها بر روی عملکرد دانه و یا در نتیجه اثر غیرمستقیم آن‌ها از طریـق سـایر صـفات است. صفت ارتفاع بوته علاوه بر اثر مستقیم مثبت بـر عملکـرد دانه (۰/۷۴)، از طریق صفات تعداد گره و طول غلاف هـم دارای اثر غیرمستقیم مثبت بر عملکرد دانه بود. بـا وجـود آن‌کـه اثـر مستقیم ارتفاع بوته بر عملکرد دانـه بـالا بـود، بـه‌دلیـل اثـرات غیرمستقیم منفی ارتفاع بوته بر عملکرد دانـه از طریـق صـفات تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن۱۰۰دانه، میزان همبستگی بین عملکرد دانه و ارتفـاع بوتـه (۰/۵۶) در مقایسه با اثر مستقیم کاهش یافت. در مـورد صـفت تعداد غلاف در بوته نیز با وجود آن‌کـه اثـر مسـتقیم بـالایی بـا عملکرد دانه داشت (۰/۵۱)، به دلیل اثـرات غیرمسـتقیم منفـی آن از طریق ارتفاع بوته، تعـداد شـاخه، تعـداد دانـه در غـلاف و وزن۱۰۰دانه، همبستگی بسیار پایینی بین عملکرد دانه و تعداد غلاف در بوته (۰/۰۲) مشاهده شـد. تعـداد شـاخه در بوتـه اثـر مستقیم منفی بالایی با عملکرد دانه داشت (۰/۶۵-)، امـا اثـرات غیرمستقیم آن از طریق صفات ارتفاع بوته (۰/۲۴)، تعداد غلاف در بوته (۰/۲۷)، تعداد گـره در شـاخه (۰/۰۰۹) و طـول غـلاف (۰/۲۲) بر عملکرد دانه مثبت بود. تعداد گره در شاخه علاوه بـر اثر مستقیم مثبـت (۰/۱۱) بـر عملکـرد دانـه، بـه‌دلیـل اثـرات غیرمستقیم مثبت از طریق ارتفاع بوته، تعداد غـلاف در بوتـه و طول غـلاف، دارای همبسـتگی بـالاتری (۰/۳۸) در مقایسـه بـا ضریب علیت (۰/۱۱) با عملکرد دانه بود. با وجود آن‌کـه اثـرات مستقیم تعداد دانه در غلاف (۰/۲۰) و وزن۱۰۰دانه (۰/۳۴) بـر عملکرد دانه مثبت بود، به دلیل اثرات غیرمسـتقیم منفـی ایـن صفات از طریق سایر صفات بر عملکرد دانه، همبستگی بـین دو صفت فوق و عملکرد دانـه منفـی بـود. طـول غـلاف دارای اثـر مستقیم (۰/۴۱) و اثر غیرمسـتقیم مثبـت بـر عملکـرد دانـه از طریق صفات ارتفاع بوته (۰/۱۳)، تعداد غلاف در بوته (۰/۱۸) و تعداد گره در شاخه (۰/۰۲) بود (جدول ۵). اگر همبستگی بـین عملکرد دانه و یک صفت به علت اثر مسـتقیم آن صـفت باشـد، این مطلب منعکس‌کننده یک رابطه واقعی بین آن‌ها است و لذا می‌توان صفت مذکور را به‌منظور اصلاح عملکرد انتخـاب نمـود،

اما اگر این همبستگی اصولاً به علت اثـر غیرمسـتقیم صـفت از طریق صفات دیگر باشد، در این صورت عمل انتخاب را باید بـر روی صفتی انجام داد کـه سـبب اثـر غیرمسـتقیم شـده اسـت (Yadav *et al.*, 1995). بنابراین با توجه به نتایج فوق، ارتفـاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در سـاقه و طـول غـلاف از صفات تأثیرگذار و با اثرات مستقیم مثبت بر عملکرد دانه بودند.

در تطابق با نتیجه این تحقیق، Ulukan *et al*, (2003) اثـرات مستقیم مثبت ارتفاع بوته، طول غلاف و تعداد غلاف در بوتـه را بر عملکـرد بـاقلا گـزارش کردنـد. همچنـین Sharifi (2014) اثرات مستقیم مثبت تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه در بوتـه، طول غلاف و وزن ۱۰۰دانه را بر عملکرد دانه باقلا گزارش نمود.

جدول ۵- اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته

Table 5. Direct (under lined) & indirect path coefficient on grain yield

صفات Characters	ارتفاع بوته Plant height (PH)	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant (NPP)	تعداد شاخه در بوته Number of stem per plant (NStP)	تعداد گره در شاخه Number of node per stem (NNSt)	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod (NSePo)	وزن۱۰۰دانه 100 Seed weight (HSW)	طول غلاف Pod length (PL)	اثر کل یا همبستگی با متغیر وابسته Total effect or correlation with dependent variable
PH	<u>0.74</u>	-0.009	0.24	0.22	-0.04	0.14	0.13	0.56
NPP	-0.005	<u>0.51</u>	0.27	0.17	-0.24	-0.34	0.18	0.02
NStP	-0.21	-0.34	<u>-0.65</u>	-0.05	0.20	0.17	-0.35	-0.06
NNSt	0.03	0.04	0.009	<u>0.11</u>	-0.05	-0.02	0.02	0.38
NSePo	-0.01	-0.09	-0.06	-0.09	<u>0.20</u>	0.02	-0.12	-0.14
HSW	-0.06	-0.23	-0.09	-0.05	0.04	<u>0.34</u>	-0.04	-0.18
PL	0.08	0.15	0.22	0.08	-0.25	-0.05	<u>0.41</u>	0.24

ضریب تبیین (R^2=0.57)   اثرات باقیمانده (0.66= $\sqrt{1-R^2}$)

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

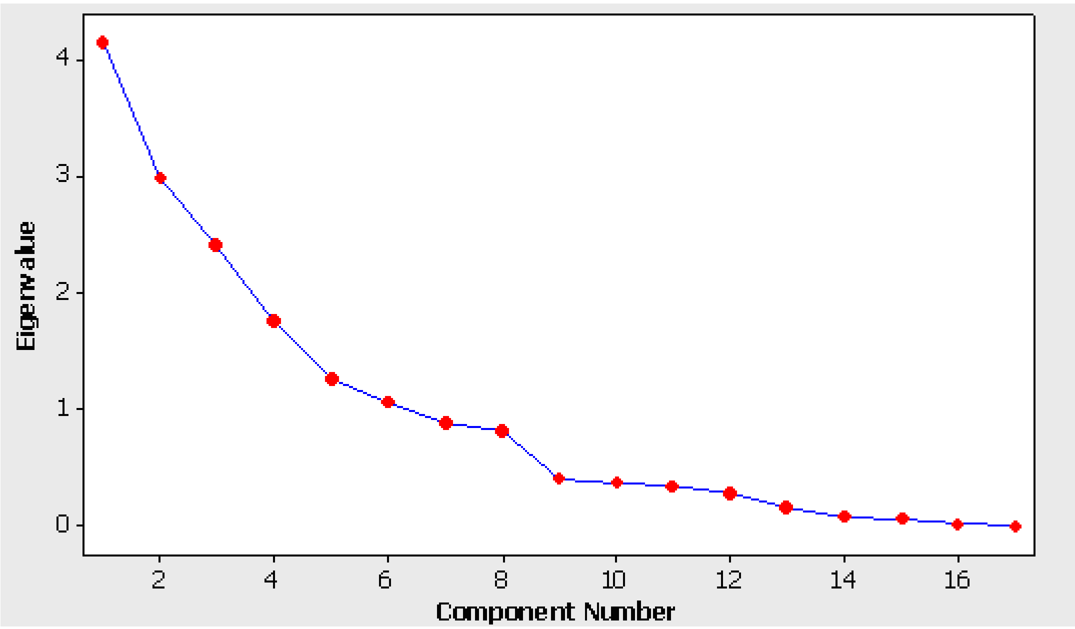
نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصـلی نشـان داد کـه مؤلفه‌های اول تـا ششـم درمجمـوع ۷۹/۹۶درصـد از تغییـرات داده‌ها را توجیه نمودنـد (جـدول ۶). هریـک از ایـن مؤلفـه‌هـا، ترکیب خطی از متغیرهای اولیـه بـوده و دربرگیرنـده واریـانس آن‌ها نیز می‌باشند. از این رو تنوع موجود در ژنوتیپ‌های مـورد ارزیابی از نظر صفات مورد بررسی به‌راحتـی بـا تعـداد کمـی از مؤلفه‌های جدید که با همدیگر همبستگی ندارنـد، قابـل‌توجیـه بوده و این تنوع بین ژنوتیپ‌ها در فضای دوبعدی یـا سـه‌بعـدی قابل‌نمایش مـی‌باشـد. در ایـن تجزیـه درصـد توجیـه‌کننـدگی مؤلفه‌های اول تا ششم به‌ترتیب برابر با ۲۴/۳۴، ۱۷/۵۷، ۱۴/۱۸، ۱۰/۳۲، ۷/۳۴ و ۶/۲۱ به‌دست آمد. بزرگی این اعداد در تفکیک بهتر ژنوتیپ‌ها و اعتبار روابـط مشـاهده‌شـده تـأثیر مـی‌گـذارد. درصورتی‌که در بین ژنوتیپ‌ها همبستگی یا مشابهت‌هایی وجود داشته باشد، این مؤلفه‌ها قادر خواهند بود، تا گروه‌بندی مناسبی را به‌وجود آورده و ژنوتیـپ‌هـای مشـابه را در گـروه‌هـای مجـزا تفکیـــک نماینـــد (Ghafari, 2004). در مؤلفـــه اول کـــه ۲۴/۳۴درصد از واریانس کل را توجیه کرده اسـت، بـزرگ‌تـرین ضرایب مربوط به صفات تعداد روز تا رسـیدگی، وزن۱۰۰دانـه و تعداد غلاف در بوته بود. در مؤلفه دوم بزرگ‌ترین ضرایب مربوط به عملکرد دانه خشک بود. در مؤلفه سوم بـزرگ‌تـرین ضـرایب مربوط به صـفات تعـداد روز تـا گلـدهی، عملکـرد بیولوژیـک و شاخص برداشت بود. در مؤلفه چهارم صفات ارتفاع بوته، تعـداد دانه در غلاف و طول غلاف بـزرگ‌تـرین ضـرایب را داشـتند. در مؤلفه پنجم بزرگ‌ترین ضرایب مربوط به تعداد شاخه در بوته و تعداد گره در شاخه بود. در مؤلفه ششم که فقط ۶/۲۱درصـد از از واریانس کل را توجیه می‌کند، بزرگ‌ترین ضـریب مربـوط بـه تعداد روز تا جوانه‌زنی بود. هرقدر درصد توجیه‌کنندگی واریانس یک مؤلفه مستقل بیشتر باشد، به اعتبـار آن مؤلفـه در تفسـیر تغییـرات کـل داده‌هـا افـزوده مـی‌شـود. از آنجـا کـه درصـد توجیه‌کنندگی مؤلفه‌ها در این مطالعـه پـایین اسـت، مـی‌تـوان اظهار داشت که صفات واقع در هـر مؤلفـه همراسـتایی زیـادی ندارند و لازم است هر یک از متغیرها به‌دقت مورد بررسی قـرار گیرند. این امـر نشـان مـی‌دهـد کـه روش‌هـای دیگـر بررسـی همبستگی‌ها مانند تجزیه علیت شایستگی صفات را بهتر نشـان می‌دهد (Pirzadeh Moghaddam *et al*., 2014).

در شکل۱، سهم مؤلفه‌ها و درصد توجیه واریانس توسط هر مؤلفه ارائه شده اسـت. ایـن نمـودار تغییـرات مقـادیر ویـژه را در ارتباط با مؤلفه‌ها نشان می‌دهد که بر این اساس شش مؤلفـه اول (با مقادیر ویژه بالاتر از ۱) بـرای توجیـه اطلاعـات داده‌هـای ایـن تحقیق کافی است، زیرا از عامل ششم به بعد تغییرات مقدار ویـژه کاهش می‌یابد و نمودار تقریباً به‌صورت خطی در می‌آیـد. هرچـه میزان شیب خـط نمـودار اسـکری‌گـراف تنـدتر باشـد، نشـان از همبستگی بالاتر بین متغیرهای اولیه و سهم کمتر سایر مؤلفه‌هـا (به جز چند مؤلفه‌اول) در توجیه واریانس دارد.

جدول ۶- مقادیر ویژه، درصد واریانس مؤلفه‌ها و ضرایب بردارهای ویژه مربوط به صفات مورد مطالعه در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

Table 6. Eigenvalues, percentage of variance and coefficients of eigenvalues of traits in principal component analysis

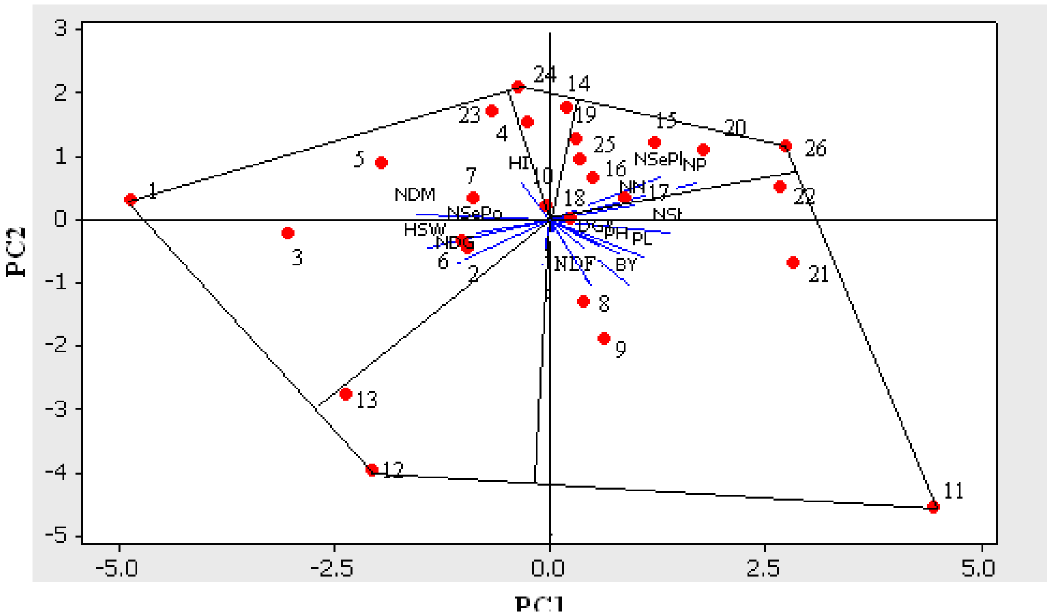
پارامترها **Parameters**	مؤلفه‌ها **Components**					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Eigenvalue مقادیر ویژه	4.14	2.99	2.41	1.75	1.25	1.06
% of Variance درصد واریانس	24.34	17.57	14.18	10.32	7.34	6.21
Cumulative % درصد واریانس تجمعی	24.34	41.91	56.09	66.41	73.74	79.96
Days to germination تعداد روز تا جوانه‌زنی	-0.253	0.060	-0.276	-0.226	0.105	<u>0.635</u>
Days to flowering تعداد روز تا گلدهی	0.049	0.167	<u>-0.475</u>	-0.206	-0.386	-0.274
Days to maturity تعداد روز تا رسیدگی	<u>-0.377</u>	-0.004	0.007	-0.011	-0.265	-0.368
Plant height ارتفاع بوته	0.174	0.330	-0.096	<u>0.394</u>	0.350	-0.312
Number of pod per plant تعداد غلاف در بوته	<u>0.427</u>	-0.152	0.164	-0.120	-0.200	0.187
Number of stem per plant تعداد شاخه در بوته	0.341	-0.035	0.044	-0.217	<u>0.551</u>	-0.214
Number of node per stem تعداد گره در شاخه	0.240	0.251	0.051	0.150	<u>-0.380</u>	-0.045
Number of seed per plant تعداد دانه در بوته	0.324	-0.383	0.110	0.176	-0.094	0.241
Number of seed per pod تعداد دانه در غلاف	-0.219	-0.323	-0.176	<u>0.462</u>	0.232	-0.021
100 Seed weight وزن ۱۰۰دانه	<u>-0.341</u>	0.203	-0.038	-0.163	0.255	0.097
Pod length طول غلاف	0.265	0.282	-0.117	<u>-0.442</u>	0.165	-0.016
Dry seed yield عملکرد دانه خشک	0.124	<u>0.464</u>	-0.125	0.383	-0.022	0.327
Biological yield عملکرد بیولوژیک	0.210	-0.055	<u>-0.619</u>	0.184	-0.019	0.094
Harvest index شاخص برداشت	-0.079	0.426	<u>0.449</u>	0.144	-0.056	0.154



شکل ۱- اسکری‌گراف نشان‌دهنده ریشه‌های مشخصه برای مشخص‌کردن تعداد مؤلفه‌های تأثیرگذار بر صفات

Fig. 1. Graph showing eigenvalues in response to number of components for the estimated variables of faba bean

ازآنجاکه هنگام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، معمولاً واریانس بسیاری از مؤلفه‌ها آن‌قدر کم است که قابل صرف‌نظرکردن می‌باشند، بنابراین در این حالت، تغییرات در مجموعه داده‌ها می‌تواند به‌وسیله تعداد کمی از متغیرهای دارای واریانس بالا توجیه شوند که در این صورت کارآیی تجزیه بالا می‌رود. هرچقدر میزان همبستگی بین متغیرهای اولیه بالاتر باشد، مقدار ویژه اول، سهم بیشتری از تغییرات را توجیه می‌کند و نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با موفقیت بیشتری به‌دست خواهد آمد (Collins & Seeney, 1999). علاوه بر این، مطالعه نمودار اسکری‌گراف نشان می‌دهد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تنوع ژنتیکی وجود دارد، زیرا هرچه تنوع ژنتیکی در ژرم‌پلاسم از نظر صفات مورد مطالعه بیشتر باشد، درصد تغییرات کمتری در روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی توجیه خواهد شد (Jensen, 1988). بر اساس معادلات هر یک از مؤلفه‌ها، می‌توان تفکیک ژنوتیپ‌ها را در نمودارهای دوبعدی (بای‌پلات) و سه‌بعدی نشان داد. از طرفی، از آنجا که برای مطالعه روابط بین بیش از سه متغیر، یک شکل به‌دست‌آمده از نمایش چند متغیر همانند بای‌پلات مفید می‌باشد، اقدام به ترسیم نمودار بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی اول گردید. نتایج حاصل از بررسی زوایای بردارهای بین صفات (با توجه به کسینوس زاویه بین دو بردار) در نمودار بای‌پلات نشان داد که عملکرد دانه با صفات ارتفاع بوته، طول غلاف، عملکرد بیولوژیک، تعداد روز تا گلدهی، تعداد گره و تعداد غلاف همبستگی مثبت ($r = \cos 0° = +1$) و با صفات تعداد روز تا رسیدگی، وزن ۱۰۰دانه و تعداد دانه در غلاف همبستگی منفی ($r = \cos 180° = -1$) داشت. همبستگی‌ساده بین صفات (جدول ۳) نیز مؤید نتایج فوق بود. البته با توجه به این‌که بای‌پلات کلیه تغییرات موجود در یک مجموعه از داده‌ها را توضیح نمی‌دهد، بلکه فقط از اطلاعات دو مؤلفه اول (۴۱/۹۱درصد) استفاده می‌کند، کسینوس زاویه بین متغیرها به‌طور دقیق به ضرایب همبستگی قابل‌تبدیل نیستند. با این وجود، این زاویه‌ها می‌توانند اطلاعات کافی برای ارائه یک تصویر کلی از روابط بین تمام متغیرها را در یک تصویر فراهم کنند که چنین ادراکی از جداول همبستگی ساده میسر نیست (Yan & Kang, 2003). از طرف دیگر تطابق کامل نتایج حاصل از تجزیه بای‌پلات و ضرایب همبستگی ساده مورد انتظار نیست، زیرا بای‌پلات روابط بین تمام صفات را توصیف می‌کند، حال آن‌که ضرایب همبستگی ساده فقط روابط بین دو صفت را توجیه می‌کنند (Yan & Rajcan, 2002). در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، Sharifi & Aminpana (2014) با استفاده از تجزیه بای‌پلات نشان دادند که صفت عملکرد دانه با صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، وزن ۱۰۰دانه و طول غلاف همبستگی مثبت داشت. از آنجا که طول بردارهای هرکدام از صفات میزان تأثیر منفی و یا مثبت صفات را بر روی صفت وابسته اندازه می‌گیرد (Yan & Tinker, 2005)، صفات ارتفاع بوته، طول غلاف و تعداد غلاف در بوته بیشترین تأثیر مثبت را بر عملکرد دانه داشتند (شکل ۲). این نتیجه نیز مؤید نتایج تجزیه علیت می‌باشد (جدول ۵).



شکل۲- نمودار دوبعدی (بای‌پلات) ۲۶ژنوتیپ باقلا بر اساس صفات مورفولوژیکی و عملکرد (تجزیه مؤلفه‌های اصلی)

Fig. 2. Tow-dimensional graph (biplot) of 26 faba bean genotypes based on morphological traits and yield (principal component analysis)

همچنین با استفاده از نمای چندضلعی بای‌پلات، ژنوتیپ‌های با ارزش برای یک یا چند صفت تعیین می‌شوند. برای ترسیم این نمای بای‌پلات، ژنوتیپ‌های واقع در دورترین فاصله از مبدأ بای‌پلات را توسط خطوط منقطع به هم متصل و یک تحدب (چندضلعی) را به‌وجود می‌آورند که سایر ژنوتیپ‌ها درون آن قرار می‌گیرند (Yan & Rajcan, 2002).

بر اساس نمای چندضلعی، نمودار بای‌پلات به پنج بخش تقسیم شد، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های ۱، ۲۴، ۲۶، ۱۱ و ۱۲ در رأس چندضلعی قرار داشتند که در دورترین فاصله از مبدأ بای‌پلات قرار داشتند. این ژنوتیپ‌ها، بهترین (برای صفات واقع در آن بخش) و بدترین (برای صفات واقع در طرف مقابل) بودند و بیشترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات داشتند (Yan & Rajcan, 2002).

در بخش اول که ژنوتیپ۱ در رأس آن واقع شده بود، صفات تعداد روز تا سبزشدن، تعداد روز تا رسیدگی، وزن۱۰۰دانه، تعداد دانه در غلاف و شاخص برداشت قرار داشتند که بیانگر این است که بیشترین میزان این صفات در ژنوتیپ۱ وجود داشت. در این بخش، ژنوتیپ‌های ۵، ۳، ۲، ۶، ۷ و ۲۳ قرار داشتند.

در بخش دوم که ژنوتیپ۲۴ در رأس آن قرار داشت و ژنوتیپ‌های ۴، ۱۴ و ۱۰ درون آن قرار داشتند، هیچ‌کدام از صفات قرار نداشتند، که نشان‌دهنده عدم برتری این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه بود.

در بخش سوم که ژنوتیپ۲۶ در رأس آن و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۵ درون آن قرار داشت، صفاتی چون تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و تعداد گره قرار داشتند. مقایسه میانگین‌ها نیز حاکی از برتری این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات فوق است (جدول ۳).

در بخش چهارم که ژنوتیپ۱۱ در رأس آن و ژنوتیپ‌های ۸، ۹، ۱۸، ۲۱ و ۲۲ درون آن قرار داشتند، صفات عملکرد دانه خشک، تعداد شاخه، ارتفاع بوته، طول غلاف، عملکرد بیولوژیک و تعداد روز تا گلدهی قرار داشتند. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) هم مؤید برتری این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات فوق، به‌خصوص عملکرد دانه می‌باشد. با توجه به همبستگی مثبت صفات اخیر با عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های فوق می‌توانند به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و صفات مؤثر بر آن توصیه شوند و می‌توانند برای معرفی رقم مورد بررسی قرار گیرند و یا به‌عنوان والد برای تولید ارقام هیبرید و همچنین ایجاد جوامعی استفاده شوند که از نظر این صفات دارای پایداری و ثبات هستند (Yan & Rajcan, 2002).

در بخش پنچم که ژنوتیپ۱۲ در رأس آن و ژنوتیپ۱۳ درون آن قرار داشت، هیچ صفتی واقع نبود (شکل ۲). همچنین پراکندگی ژنوتیپ‌ها در نمای بای‌پلات حاصل از دو مؤلفه اصلی اول نشان از تنوع ژنتیکی این ژنوتیپ‌ها با توجه به صفات مورد مطالعه دارد.

نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت، امکان استفاده از صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در بوته و طول غلاف (با توجه به ضرایب علیت مثبت بالای آن‌ها بر عملکرد دانه) برای انتخاب غیرمستقیم جهت نیل به عملکرد بالاتر وجود دارد. همچنین می‌توان از نتایج استنباط نمود که به‌منظور افزایش عملکرد دانه در باقلا به یک پتانسیل بالقوه نیاز است که شامل یک منبع ذخیره‌ای است که در زمان نیاز دانه‌ها باید گیاه آن را در مراحل پرشدن و تشکیل دانه‌ها مورد استفاده قرار دهد. بنابراین در برنامه‌های اصلاحی باید صفاتی را که در جهت افزایش تعداد دانه و غلاف در بوته (که افزایش مخزن بالقوه به‌شمار می رود) و صفات مؤثر در افزایش رشد رویشی و شاخ و برگ و اندام‌های فتوسنتزکننده گیاهی (که منبع ذخیره‌ای است) مورد گزینش قرار داد.

با توجه به نتایج تجزیه بای‌پلات ژنوتیپ‌های ۸، ۹، ۱۱، ۱۸، ۲۱ و ۲۲ دارای بیشترین میزان عملکرد دانه، تعداد شاخه در بوته، ارتفاع بوته، طول غلاف و عملکرد بیولوژیک و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۵، ۲۶ دارای بیشترین تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و تعداد گره در شاخه بودند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های مناسب به کارگرفته شوند. بنابراین به‌منظور دستیابی به عملکرد بیشتر، بایستی صفاتی همچون ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در بوته و طول غلاف که دارای اثرات مستقیم و غیرمستقیم مثبت بر عملکرد دانه بودند و در برنامه‌های گزینشی برای عملکرد از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشند، در اولویت برنامه‌های اصلاحی قرار گیرند تا بتوان از این صفات در گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا استفاده کرد. این نتایج بیانگر آن است که می‌توان این ژنوتیپ‌ها را در برنامه‌های اصلاحی برای افزایش عملکرد مورد استفاده قرار داد.

منابع

1. Alghamd, S.S. 2007. Genetic behavior of some selected faba bean genotypes. African Crop Science Conference Proceedings 8: 709-714.
2. Amini, A., Ghanadha, M.R., and Abdmishani, S. 2002. Genetic variation and correlation between different traits in common bean. Journal of Agricultural Sciences 33: 605-615. (In Persian with English Summary).
3. Azarpour, E., Bidarigh, S., Moraditochaee, M., Khosravi Danesh, R., Bozorgi H.R., and Bakian, M. 2012. Path coefficient analysis of seed yield and its components in faba bean (*Vicia faba* L.) under nitrogen and zinc fertilizer management. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4(21): 1559-1561.
4. Badolay, A., Hooda, J.S., and Malik, B.P.S. 2009. Correlation and path analysis in faba bean (*Vicia faba* L.). Journal of Haryana Agronomy 25: 94-95.
5. Chaieb, N., Bouslama, M., and Messaoud, M. 2011. Growth and yield parameters variability among faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. Natural Production Plant Resources 4: 39-45.
6. Ghafari, M. 2004. Use of principal component analysis method for selection of superior three way cross hybrids in sunflower. Seed and Plant 19(4): 513-527.
7. Hair, J.R., Anderson, R.E., Tatham, R.L., and Black, W.C. 1995. Multivariate Data Analysis with Readings. Prentice Hall, Englewood, NJ.
8. Hashemi, M., and Mohammady, S. 2016. Evaluation of grain yield and yield components in some imported faba bean genotypes (*Vicia faba* L.). Journal of Crop Breeding 8(18): 97-103. (In Persian with English Summary).
9. Kanouni, H., and Malhotra, R. 2003. The study of genetic diversity and relationships among agronomic traits in chickpea genotypes under dryland conditions. Journal of Crop Science 5: 1-11. (In Persian with English Summary).
10. Kumar, P., Das, R.R., Bishnoi, S.K., and Sharma, V. 2017. Inter-correlation and path analysis in faba bean (*Vicia faba* L.). Electronic Journal of Plant Breeding 8(1): 395-397.
11. Maalouf, F., Khalil, S., Ahmad, S., Akintunde, A., Kharrat, N.M., Shamaa, K.E., Hajjar, S., and Mahotra, R.S. 2011. Yield stability of faba bean lines under diverse broomrape prone production environments. Field Crops Research 124: 288-294.
12. Mohammadi, S.A., Prasanna, B.M., and Singh, N.N. 2003. Sequential path model for determining interrelationships among grain yield and related characters in maize. Crop Science 43: 1690-1697.
13. Ouji, A., Rouaissi, M., Abdellaoui, R., and El Gazzah, M. 2011. The use of reproductive vigor descriptors in studying genetic variability in nine Tunisian faba bean (*Vicia faba* L.) populations. African Journal of Biotecnology 10(6): 896-904.
14. Rasheed, S., Hanif, M., Sadiq, S., Abbas, GH. Jawad Asghar, M., and Ahsanul Haq, M. 2008. Inheritance of seed yield and related traits in some lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 45(3): 49-52.
15. Ringner, M. 2008. What is principal component analysis? Nature Biothechnology 26: 303-304.
16. Pirzadeh Moghaddam, M., Bagheri, A., Malekzadeh-Shafaroudi, S., and Ganjeali, A. 2014. Multivariate statistical analysis in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under limited irrigation. Iranian Journal of Pulses Research 5(2): 99-110. (In Persian with English Summary).
17. Sabori, H., Mohammadinejad, G., and Fazlalipour, M. 2011. Selection for improve rice yield by multivariate analysis. Iranian Journal of Field Crops Research 9(4): 639-650. (In Persian with English Summary).
18. Sarparast, R., Sheikh, F., and Sowghi, H.A. 2011. Investigation of genotype and environment interaction and cluster analysis for seed yield in different lines of faba bean (*Vicia faba* L.). Iranian Journal of Pulses Research 2(1): 99-106.
19. Sharifi, P. 2014. Correlation and path coefficient analysis of yield and yield component in some of broad bean (*Vicia faba* L.) genotypes. Genetika 46(3): 905-914.
20. Sharifi, P., and Aminpanah, H. 2014. A study on the genetic variation in some of faba bean genotypes using multivariate statistical techniques. Tropical Agriculture (Trinidad) 91(2): 87-97.
21. Sharifi, P., Astereki, H., and Safari Motlagh, M.R. 2014. Evaluation of genotype, environment and genotype×environment interaction effects on some of important quantitative traits of faba bean (*Vicia faba* L.). Journal of Crop Breeding 6(13): 73-88. (In Persian with English Summary).
22. Tadayyon, A., Hashemi, L., and Khodambashi, M. 2011. Effective morphological and phenological traits on seed and biological yield in lentil genotypes in Shahrekord region. Iranian Journal of Pulses Research 2(2): 47-62. (In Persian with English Summary).

23. Tadesse, T., Fikere, M., Legesse, T., and Parven, A. 2011. Correlation and path coefficient analysis of yield and its component in faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm. International Journal of Biodiversity Conservation 3: 376-382.
24. Turpin, J.E., Robertson, M.J., Hillcoat, N.S., and Herridage, D.E. 2002. Faba bean (*Vicia faba* L.) in Australia northern grains belt: canopy development, biomass and nitrogen accumulation and partitioning. Auh Journal of Agriculture 53: 227-237.
25. Ulukan, H., Mustafa, G., and Siddik, K. 2003. A path coefficient analysis some yield and yield components in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. Pakistan Journal of Biological Science 6: 1951-1955.
26. Wright, S. 1921. Correlation and causation. Journal of Agricultural Research 20: 557-585.
27. Yadav, R.B., Dubey, R.K., Srivastava, M.K., and Sharma, K.K. 1995. Path coefficient analysis under three densities in rice. Journal of Soils and Crops 5(1): 43-45.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 11, No. 1, 2020, p. 74-87 (Research Article)

Study the relationships between yield and yield component of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by multivariate analyses

Astaraki[1], H., Sharifi[2]*, P., Sheikh[3], F. & Izadi-Darbandi[4], A.

1. Researcher, Lorestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Seed and Plant Improvement Institute, Broujerd, Iran; research12014@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
3. Member of Scientific Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Golestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Seed and Plant Improvement Institute, Gorgan, Iran; sheikhfatemeh@yahoo.com
4. Associate Professor of University of Tehran, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of Aburaihan, Tehran, Iran; aizady@ut.ac.ir

Received: 23 February 2018
Accepted: 26 August 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v11i1.70916

Introduction

Faba bean (*Vicia faba* L.) is a major crop legume that is used as food owing to the high nutrient components in seeds. Yield improvement is a major breeding objective of most crop breeding programs. Multivariate analyses are useful for characterization, evaluation and classification of plant genetic resources when a number of accessions are to be assessed for several characters of agronomic, morphological and physiological importance. Different types of multivariate analysis such as regression analysis, path analysis, principal component analysis (PCA) can be used to identify groups of genotypes that have beneficial traits for breeding and instructing the patterns of variation in genotype accession, to recognize relationships among accessions and possible gaps. Correlation coefficients describe the mutual relationships between different pairs of characters without providing the nature of cause and effect relationship of each character. Path analysis was also performed to determine the direct and indirect contribution of each character to seed yield. Principal component analysis has been widely used in the studies of variability in germplasm collections of many species. The objective of the present study was to estimate the correlations and partition of the coefficient of correlation between seed yield with its primary components, into direct and indirect effects to determine the relative importance of each one in faba bean seed yield. The other aims of the present study are to assess the genetic diversity present in the morphological and agronomical traits in 26 faba bean genotypes by principal component analysis.

Materials & Methods

This study was carried out during 2015-16 growing season in Lorestan province, Iran (longitude, 48° 45´ E; Latitude, 35° 55´ N; Altitude, 1629 m above sea level). Experimental material comprised 26 genotypes of faba bean. Field experiments were conducted in a randomized complete block design with three replications. Each plot consisted of four rows with 4 m long and distance between rows and plants were 50 and cm, respectively. The characters included days to germination, days to flowering, days to maturity, plant height, number of stems per plant, number of node per stem, number of seeds per pod, number of seeds per plant, hundred seed weight, pod length, dry seed yield, biological yield and harvest index were measured before and after harvesting. SAS 9.2 used to analyses the correlation and regression coefficients. Path coefficients were estimated by path analysis software. Principal components analysis was done using SPSS and the graphs were drawn via Minitab.

***Corresponding Author:** sharifi@iaurasht.ac.ir

Results & Discussion

The analysis of variance indicated significant differences between genotypes for all of the studied traits. Correlation analysis indicated there were positive correlation coefficients between seed yield and number of days to germination, number of days to flowering, plant height, number of pods per plant, number of nodes per stem, hundred seed weight, pod length, biological yield and harvest index. Regression analysis indicated seed yield as dependent variable, while plant height, number of pods per plant, number of stems per plant, number of nodes per stem, number of seeds per pod, hundred seed weight and pod length were considered as casual variables. Path coefficient analysis indicated plant height (0.74), number of pod per plant (0.51), number of nodes per stem (0.11), number of seeds per pod (0.20), hundred seed weight (0.34) and pod length (0.41) had positive direct effects on seed yield. The results of principal component analysis showed that the eigenvalues were reduced with the increase of the number of PCs. Principal components analysis, identified six components that explained 80% of total variation. The maximum values of eigenvalues were obtained for first three PCs, which accounted for a cumulative percentage of total variance of 24.34%, 17.57% and 14.18%, respectively. The remaining percentage of the total variation decreased sharply. The eigenvalue of the first principle component had a variance of 4.14, while the other two components had much smaller variances. It could be said that the first principal component is by far the most important of the three and that the first principal component include the largest variance of any one unit the length linear combination of the observed variable. The first two and three PCs was used to grouping the genotypes in two and three-dimensional plots, respectively.

Conclusion

Attention should be paid to traits such as plant height, number of pods per plant, number of nodes per stem and pod length for augmentation of seed yield and these traits could be used as selection criteria in faba bean breeding programs. Tow dimensional plot based on first two principal components showed genetically different genotypes by the pattern on scattering. It could be concluded that the high yielding genotypes, such as 9 and 22 could be used to improve seed yield of faba bean and making possibilities of extending production of this legume crop.

Keywords: Correlation, Faba bean, Path analysis, Principal component, Regression, Yield